OAMK
OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

Arttu Kunnari

DIGITALISAATIO INFRARAKENTAMISESSA

DIGITALISAATIO INFRARAKENTAMISESSA

Arttu Kunnari
Opinnäytetyö
Syksy 2018
Yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Yhdyskuntatekniikka

Tekijä(t): Arttu Kunnari
Opinnäytetyön nimi: Digitalisaatio infrarakentamisessa
Työn ohjaaja(t): Jarmo Erho
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2018
Sivumäärä: 28

Digitalisaatiota hyödynnetään nykyään jokaisen infrarakennushankkeen jokaisessa työvaiheessa. Digitalisaation yleistyminen on tapahtunut nopeasti muun muassa kannettavien tablettien yleistyttyä. Digitalisaatiolla päästään kustannustehokkaaseen ja tarkkaan lopputulokseen. Aikaisemmin infrarakennushankkeen maanmittaukseen käytettiin aikaa useista viikoista jopa kuukausiin. Nykyisellä teknologialla, satelliittimittauksella ja laserkeilauksella mittaukset voidaan nopeimmillaan suorittaa vain muutamassa tunnissa.

Opinnäytetyössä perehdyttiin maanmittauksen, satelliittimittauksen ja laserkeilausaineiston hyödyntämiseen infrarakentamisessa. Mittaus- ja keilausprosessista saatua aineistoa käytetään muun muassa karttojen ajantasaistuksessa. Vuoden 2019 aikana Keminmaan kunnassa on tarkoitus päivittää rakennukset tietokantoihin, minkä vuoksi asiaan perehdyttiin opinnäytetyössä tarkemmin. Työn tavoitteena oli hankkia tietoa aiheesta ja selvittää laserkeilausaineiston edut ja mahdollisuudet.

Ajantasaistukseen perehdyttiin syventymällä rakennus- ja muutostulkintamenetelmiin, minkä lisäksi työssä käsiteltiin karttojen tekoa ja niiden päivittämistä. Lopuksi esiteltiin maksuttomia laserkeilausohjelmia, joita kuluttaja voi hyödyntää omalla tietokoneellaan.

Työssä saatuja tietoja voidaan hyödyntää Keminmaan kunnan projektissa, jossa käydään läpi kaikki kunnan alueella olevat rakennukset. Satelliittimittausten ja laserkeilausaineistojen hyödyntäminen toimii hyvänä työkaluna ja tulee nopeuttamaan projektin valmistumista.

Asiasanat: maanmittaus, laserkeilaus, pistepilvi

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Building and Civil Engineering, Civil Engineering

Author(s): Arttu Kunnari
Title of thesis: Digitization in Infrastructure Construction
Supervisor(s): Jarmo Erho
Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2018
Pages: 28

The thesis focuses on land surveying and laser scanning materials and their utilization. The thesis also discusses satellite photometry and laser scanning processes in various forms. In addition, the work concentrates on mapping using photogrammetry. The material received from the measurement and scanning process is used in updating the maps, which the municipality of Keminmaa also intends to carry out next year. This is one of the reasons why the author of the thesis became interested in the topic, even though the municipality of Keminmaa is not the commissioner of the thesis.

The updating process is carried out by examining the construction and alteration methods as well as mapping and updating the maps. Finally, this thesis presents free laser scanning software that consumers are able to use on their computers. The aim of the thesis is to inspire the readers and make them interested in this topic and to make them understand the advantages and opportunities of laser scanning materials.

Keywords: laser scanning, point cloud, satellite measurement

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ 3
ABSTRACT 4
SANASTO 6
1 JOHDANTO 7
2 DIGITALISAATIO RAKENTAMISESSA 8
2.1 Maastomittaus takymetrillä 8
2.2 Satelliittimittaus 9
2.3 Kartoitusilmakuvaus 10
2.4 Laserkeilaus 11
2.4.1 Laserkeilaus helikopterilla tai lentokoneella 12
2.4.2 Laserkeilain muissa laitteissa 13
3 KARTTOJEN AJANTASAISTUS 15
3.1 Rakennustulkintamenetelmä 15
3.2 Muutostulkinta 16
3.3 Testituloksia 17
3.3.1 Rakennustulkinta 17
3.3.2 Muutostulkinta 19
3.4 Aineistojen vaikutus 20
3.5 Yhteenveto tulkintamenetelmistä 21
4 LASERKEILAUSMATERIAALIN KÄSITTELY MAKSUTTA 22
4.1 FurgoViewer 22
4.2 LasTools 22
4.3 Fusion 23
4.4 Landserf 23
4.5 Google Sketchup 24
4.6 Yhteenveto maksuttomista käsittelyohjelmista 24
5 POHDINTA 25
LÄHTEET 27

SANASTO

Fotogrammetria	kohteiden kolmiulotteista mittausta kohteesta otetuilla valokuvilla
Inertianavigointi	kiihtyvyyksien mittaamiseen perustuva menetelmä keilaimen asennon tunnistamiseen
Kartoitus	maastokohteiden määrittäminen kartalle
Kasvillisuusindeksi	ilmoittaa vihreän kasvillisuuden määrän alueella
Maanmittaus	toimintaa, jossa määritetään mittausten avulla maan pinnalla olevien kohteiden sijaintia, kokoa ja muotoa
Ortokuva	kohtisuoraan ilmasta otettu kuva
Pistepilvi	kolmiulotteinen pisteistä muodostuva kuva mitattavasta kohteesta
RTK	reaaliaikainen kinemaattinen mittaus, perusmenetelmä satelliittimittauksissa
TIN-malli	epäsäännöllinen kolmiverkko, kolme lähinnä olevaa pistettä muodostavat kolmion kulmat

1 JOHDANTO

Laserkeilausta käytetään työkaluna maanmittauksessa, joka on jokaisen infrarakennusurakan tärkein elementti urakan ensimmäisissä työvaiheissa. Maanmittauksesta saadaan projektiin tarvittavat lähtötiedot ja niiden avulla valitaan tarvittavat menetelmät rakennushankkeeseen. Hitaan toimenpiteen vuoksi maanmittaus on työllistänyt maanmittaajia jopa kuukausien ajaksi. Laserkeilaus ja satelliittimittaus nopeuttavat maanmittausoperaatiota viikoilla, minkä ansiosta rakennushankkeen kokonaisaika lyhenee.

Opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia karttojen päivitykseen liittyviä menetelmiä, joissa hyödynnetään laserkeilausta ja ilmakuvia. Työssä perehdytään myös perinteiseen maanmittaukseen, mutta pääasiallisesti keskitytään laserkeilaukseen sekä siihen liittyviin välineisiin, mahdollisuuksiin ja haasteisiin. Työssä käsitellään lisäksi satelliittikuvausta ja karttojen tekemistä fotogrammetriaa ja kaukokartoitusta käyttämällä.

Työn tarkoituksena on perehtyä myös siihen, miten laserkeilausaineistoa ja ilmakuvia voitaisiin käsitellä kotikoneella, ja selvittää laserkeilauksen tulevaisuudennäkymiä.

2 DIGITALISAATIO RAKENTAMISESSA

Maaston mittaamisessa voidaan käyttää monia erilaisia mittausmenetelmiä. Perinteisin tapa mittauksen suorittamiseen on takymetri, joka on hidas mutta tarkka tapa mitata maastoa. Takymetrillä mittaaminen vaatii kaksi työntekijää, mikä nostaa mittauksen kustannuksia. Nykyaikaisempia menetelmiä ovat satelliittimittaus ja laserkeilaus. Luvuissa 2.1–2.4 esitellään keskeiset maastonmittausmenetelmät.

2.1 Maastomittaus takymetrillä

Takymetrimaastomittauksella (kuva 1) ja kartoituksella pyritään antamaan tarkasteltavasta alueesta mahdollisimman oikea ja tarkka kuva. Ensiksi todetaan, mitä maastossa on ja mitä tietoja kartasta halutaan saada selville. Sen jälkeen suoritetaan tarvittavat mittaukset ja niiden perusteella laaditaan kartta, jossa mitatut yksityiskohdat ovat oikeilla paikoillaan. (1, s. 3.)

KUVA 1. Robottitakymetrillä maaston mittaaminen (1, s. 39)

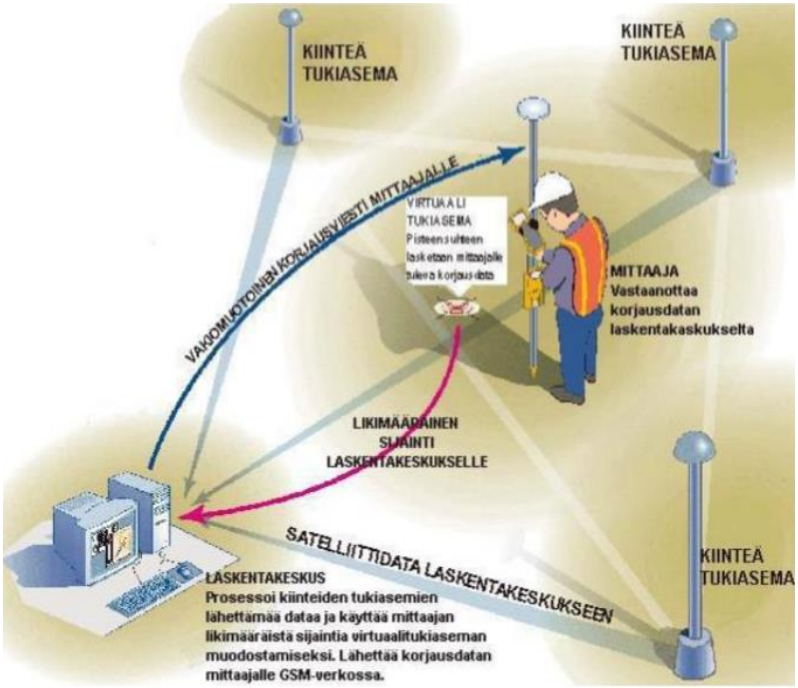
Kartoituksen ja rakennusmittausten yleistyökaluna toimivat takymetri ja robottitakymetri. Kartan laadinnassa voidaan takymetrin sijasta käyttää esimerkiksi satelliittipaikannustekniikkaa. Satelliittipaikannusta ei voida kuitenkaan käyttää takymetrimittausten tilalla seuraavissa tapauksissa:

- Mitattavaan pisteeseen ei voi viedä satelliittisignaalien vastaanottoantennia.
- Mitattavasta pisteestä ei ole vapaata näköyhteyttä taivaalle riittävällä laajuudella.
- Suurin sallittu virhe on alle 1 cm. (2.)

2.2 Satelliittimittaus

Satelliittimittaus perustuu satelliittien lähettämiin signaaleihin, minkä ansiosta mittaukset voidaan suorittaa tarkasti missä päin maailmaa tahansa. Satelliitin signaaleja vastaanottamiseen tarvitaan mittalaite, jonka avulla mittaus tapahtuu. Paikannus kolmiulotteisessa tilassa on mahdollista, mikäli satelliitin vastaanotin saa etäisyydet kolmesta satelliitista. Mittausten virhemarginaalia voidaan pienentää käyttämällä vähintään neljää satelliittia. (2, s. 280, 291 ja 322.)

Satelliittimittausta suoritettaessa työmaalle viedään valvonta-asemia, jotka määrittävät satelliittien tarkkaa sijaintia avaruudessa. Kun havaintohetkellä tiedetään satelliittien sijainnit ja niiden etäisyydet vastaanottimeen, voidaan vastaanottimen sijainti määrittää varsin tarkasti. RTK-mittauksella (kuva 2) voidaan saavuttaa paikannustarkkuus jopa senttimetrien tarkkuudella. Reaaliaikainen paikantaminen onnistuu missä päin maailmaa tahansa ajasta tai sääolosuhteista riippumatta. (2, s. 280, 291 ja 322.)

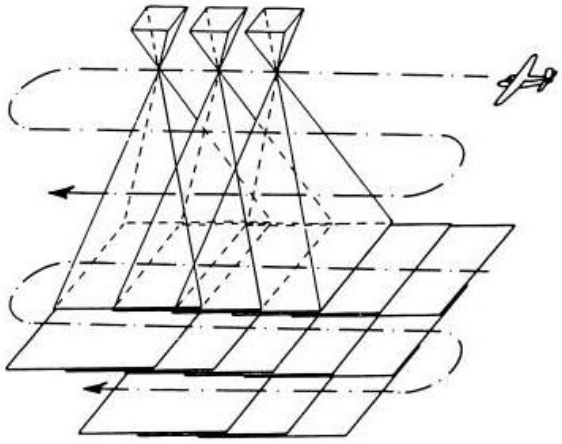


KUVA 2. RTK-mittaus (3, s. 18)

2.3 Kartoitusilmakuvaus

Kohteiden muodon ja ominaisuuksien selvittämiseen käytetään valokuvia, satelliittikuvia sekä laserkeilausta, jossa hyödynnetään fotogrammetriaa ja kaukokartoitusta. Menetelmä soveltuu sekä pienten kohteiden että laajojen alueiden tarkkaan mittaamiseen ja tulkintaan. Fotogrammetrisessa kartoituksessa ilmakuvia otetaan niin, että koneen pohjassa oleva kameran linssi kohdistuu mahdollisimman kohtisuoraa kohti maan pintaa. (4.)

Kartoitusta varten otettuja ilmakuvia tarkastellaan stereokooppisesti, joten ilmakuvien on oltava stereokuvapareja. Kamera laukaistaan sopivin väliajoin koneen lentäessä kartoitettavan alueen yllä siten, että jokainen kartoitettavan alueen kohta näkyy vähintään kahdella kuvalla. Peräkkäisiä kuvia otettaessa kuvista muodostuu kuvajono. Kuvat menevät keskenään päällekkäin, jolloin niistä muodostuu stereonäkymä suuremmalta alueelta. Kuvablokki muodostuu kuvauksen käsittäessä useita vierekkäisiä kuvajonoja (kuva 3). (4.)



KUVA 3. Ilmakuvablokki (4)

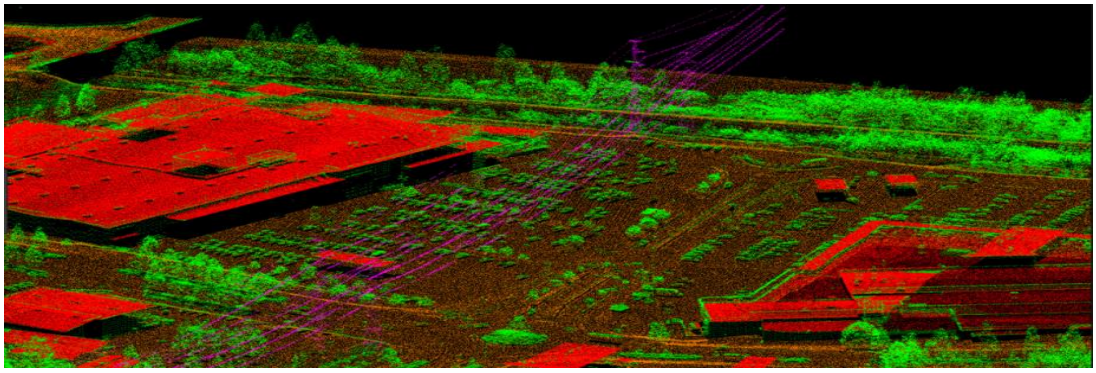
Jotta jonot pystyttäisiin liittämään blokiksi, tulee myös vierekkäisten jonojen mennä koko pituudeltaan jonkin verran päällekkäin. Lennon suunnassa päällekkäin menevää aluetta kutsutaan pituuspeitoksi, kun taas kuvajonojen päällekkäin menevä alue on nimetty sivupeitoksi. Suomessa pituuspeiton arvona käytetään 60 % kuvien alasta ja sivupeiton vastaava lukema on 30 %. (4.)

Pituuspeiton suuruuteen vaikuttavat muun muassa geometriset vaihtelut, minkä vuoksi peiton suuruus vaihtelee eri maissa. Esimerkiksi vuoristoisilla alueilla korkeusvaihtelut vaikuttavat pituuspeiton suuruuteen, jolloin alueilla tarvitaan normaalia suurempi pituuspeitto. Fotogrammetriaa on käytetty perinteisesti karttojen ja maastotiedon tuotantoon. Maasto kuitenkin muuttuu jatkuvasti, joten tietokantaa on päivitettävä muutaman vuoden välein ilmakuvien ja geodeettisten mittausten avulla. (4.)

2.4 Laserkeilaus

Mittakeilain, joka lähettää tietoa automaattisesti tiheänä rasterina, on nopea tapa kartoittaa puuston tai maaston nykytila. Laserkeilauksen säteiden tiheys on säädettävissä tilanteen ja tarpeen mukaan. Rakennusmittauksessa säteiden tiheys voi olla esimerkiksi 10 mm, kun taas kauempaa tapahtuvassa puusto- tai maastokartoituksessa käytetään yleensä tiheyttä 10 cm. Keilain

mittaa säteen edestakaisen matka ja säteen intensiteetin muutoksen sekä laskee säteen kimmoamispisteen koordinaatit. (5.)



KUVA 4. Laserkeilauksen pistepilvi (5)

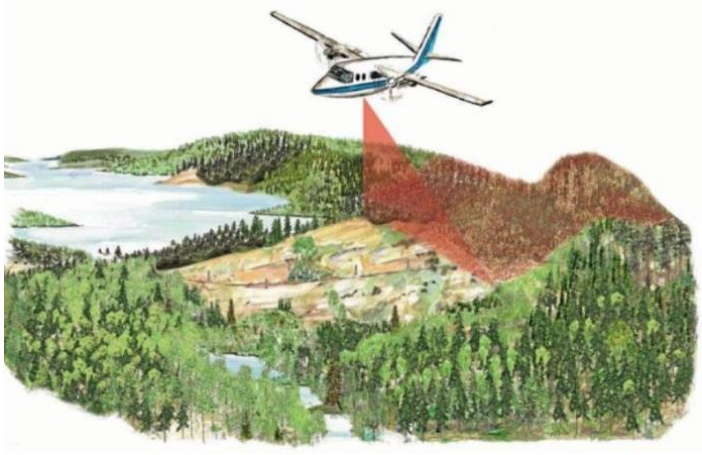
Katvealueiden välttämiseksi kohde keilataan yleensä useammasta suunnasta, minkä jälkeen keilaukset yhdistetään yhdeksi tiedostoksi. Pisteet sijoitetaan jokaiseen kimmoamispisteeseen, jolloin tuloksena muodostuu kolmiulotteinen tietokonemalli eli pistepilvi (kuva 4). Pistepilvestä pystytään hahmottamaan kohteen kolmiulotteinen pinta, jossa voi olla pisteitä sadoista miljoonista jopa miljardeihin. (5.)

Laserkeilaimet voidaan luokitella kolmeen tyyppiin seuraavasti:

- kaukokeilaimet: mittausetäisyys on 100 metristä 100 kilometriin ja mitatun pisteen tarkkuus alle 10 cm
- maalaserkeilaimet: mittausetäisyys 1–300 metriä, tarkkuus alle 2 cm
- teollisuuslaserkeilaimet: mittausetäisyys alle 30 metriä, tarkkuus alle millimetri. (5.)

2.4.1 Laserkeilaus helikopterilla tai lentokoneella

Laserkeilauksessa käytetään GPS-paikannusta kopterin sijainnin määrittämistä varten. Keilauksen aikana inertianavigoinnilla tarkkaillaan helikopterin asentoa, millä varmistetaan mittauslaitteen kohtisuoruus. Lentokorkeus ja keilauskulma vaikuttavat keilattavan alueen pistetiheyteen ja keilauksen leveyteen (kuva 5). (6.)



KUVA 5. Laserkeilaus lentokoneella (6)

Helikopterista saadaan tarkka kolmiulotteinen maastomalli tien suunnittelua ja työkoneiden ohjausta varten. Maastomallin avulla tiestä voidaan laatia 3D-suunnitelma. (6.)

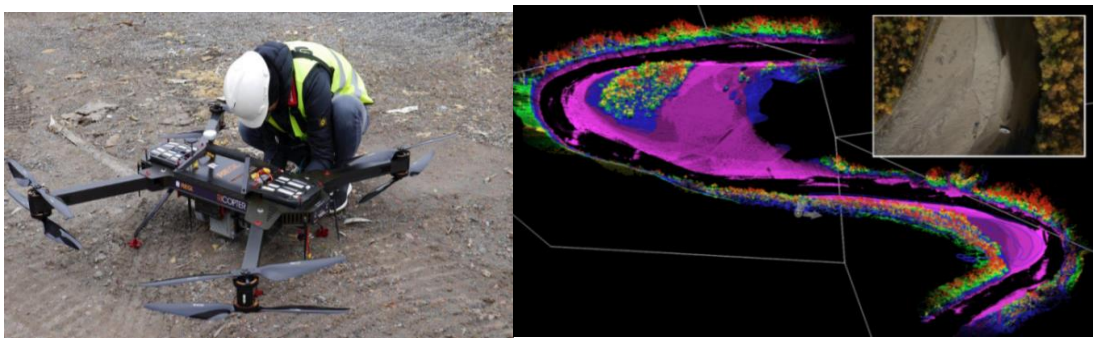
Laserkeilauksen markkinat ovat olleet voimakkaassa kasvussa teho-hintasuhteen jatkuvan kehittymisen myötä. Tällä hetkellä 3D-mallin laserkeilauksen kustannukset ovat alle 15 euroa hehtaaria kohti, mikä tekee keilauksesta varsin kustannustehokasta. Kolmiulotteinen malli on monikäyttöinen, sillä sitä voidaan hyödyntää missä tahansa rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyvissä tehtävissä. Metsäalueiden inventoinnissa ja puiden kasvun seurannassa käytetään myös laserkeilausta lentokoneesta käsin (kuva 5) sen nopeuden ja helppouden vuoksi. (6.)

Laserkeilaus ja erilaiset kuva-aineistot toimivat erinomaisesti maa-alueiden ja karttojen ajantasauksessa. Menetelmän avulla muutosten etsimiseen kuluvaa aikaa ja työmäärää voidaan vähentää. Vaikka tulokset eivät sellaisenaan kelpaa karttatietokantoihin, voidaan tuloksia silti hyödyntää vihjetietona visuaalisessa tulkinnassa. (6.)

2.4.2 Laserkeilain muissa laitteissa

Laserkeilainta voidaan käyttää nykyään myös mini-UAV:ssa eli dronessa, autoissa ja tulevaisuudessa jopa kännyköissä. Miehittämätön lentolaite (dro-

ne) laserkeilaimella muodostuu moniroottorisesta helikopterista, jossa on mittalaitteet (kuva 6). Drone lentää autopilotilla ennalta ohjelmoidun mittausreitin, joka mittaa maastoa 300 000 pisteen sekuntinopeudella. (7.)



KUVA 6. Drone ja mittauksen lopputulos (7)

Autoissa laserkeilainta voidaan hyödyntää moniin tarkoituksiin, sillä se kerää tietoa muun muassa maan pinnasta, kaupungin tiestöstä, rakennuskannasta ja rakennusten julkisivuista (kuva 7). Autoihin asennettava laserkeilain on tarkempi kuin helikopterilla tehdyt vastaavat kuvaukset ja mittaukset. Tulevaisuudessa tehtaalla autoihin asennettava laserkeilain on tärkeä osa autonomista ajamista. (8.)

KUVA 7. Autoon kiinnitetty laserkeilain ja keilauksen lopputulos (8)

Muita käyttömuotoja laserkeilaimelle on suunniteltu puhelimiin ja kannettaviin reppukeilaimiin. Laserkeilain puhelimessa voi esimerkiksi varoittaa näkövammaisia esteistä tämän liikkuessa oudossa ympäristössä. (7.)

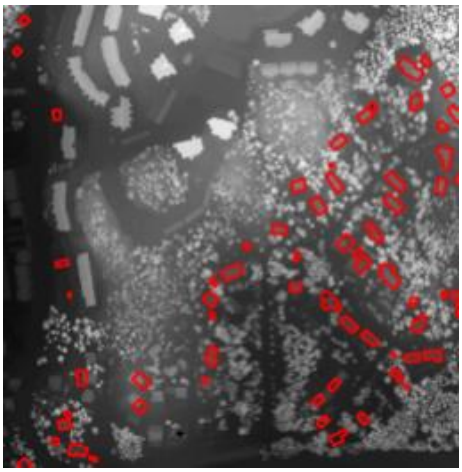
3 KARTTOJEN AJANTASAISTUS

Kolmannessa luvussa esitellään erilaisia tulkintamenetelmiä karttojen päivittämiseen. Aluksi käydään läpi menetelmäesimerkkejä ja sen jälkeen tarkastellaan testituloksia eri menetelmiä käyttäen.

3.1 Rakennustulkintamenetelmä

Kartankäyttäjille rakennukset ovat selventävä kohdeluokka, minkä vuoksi ne on tärkeä pitää ajantasaisena. Rakennuksissa tapahtuu vuosien mittaan muutoksia, joten ajantasaistuson tehtävä yleensä 5–10 vuoden välein. Laserkeilauksesta on tutkitusti selkeää hyötyä kohteiden tulkinnassa. Muutostulkinta voi perustua uuden ja vanhan laserkeilausaineiston väliseen vertailuun. Rakennusten reunaviivoja tarkastelemalla voidaan tulkita rakennukset uudesta aineistosta vanhan aineiston puuttuessa. Mikäli vanha aineisto puuttuu, joudutaan uudet rakennukset etsimään erikseen. (9.)

Laserkeilausaineistosta muodostettu rasterimuotoinen pintamalli, jossa kunkin pikselin arvona on sen korkeus, on todettu hyväksi lähtökohdaksi alueiden muodostamiseen (kuva 8). Pintamallissa erottuvat rakennukset, puut ja muut maanpintaa korkeammat kohteet tasaisista ja matalista alueista. Luokittelun alkuvaiheessa pintamalli jaetaan korkeudeltaan yhtenäisiin alueisiin. Matalat kohteet erotetaan korkeista segmenteistä, puista ja rakennuksista. (9.)



KUVA 8. Laserkeilausaineistosta muodostettu pintamalli (9, s. 4)

Laserkeilauksen laserpisteet antavat erisuuruisia arvoja, joista voidaan erottaa maanpintapisteet ja korkeat pisteet omiin luokkiinsa. Korkeiden segmenttien löydyttyä rakennukset erotellaan puista. Rakennukset ovat pintamallissa korkeudeltaan melko yhtenäisiä ja tasaisesti muuttuvia alueita. Korkeusarvojen suuresta vaihtelusta huomataan, että laserpulssit heijastuvat puun latvasta tai maanpinnasta. (9.)

3.2 Muutostulkinta

Erityyppisiä muutoksia luokittelemalla pyritään löytämään muuttuneet rakennukset automaattisesti. Tuloksia voidaan hyödyntää rakennuskarttojen ajantasaistuksessa. Muutostulkinnassa verrataan laserkeilausaineistoa ja kuva-aineistoa olemassa olevaan karttaan. Menetelmässä verrataan rakennusten päällekkäisyyksiä kartasta laserkeilaus- tai kuva-aineistoon, joista muodostuvat tulkintatulokset. (9.)

Muutostulkinnan tavoitteena on tunnistaa rakennukset uusista aineistoista ja verrata niitä vanhoihin rakennuksiin muutosten havaitsemiseksi. Tulkintaa tekevä voi keskittyä vain muuttuneisiin rakennuksiin ja näin ollen välttyä koko alueen tarkistamiselta. Automaattista muutostulkintaa voitaisiin käyttää vain vihjetietona ajantasauksessa, koska se tuottaa helposti vääriä hälytyksiä. (9.)

Muutostulkinta voidaan jakaa seuraaviin luokkiin:

1. OK (ei muutosta): Rakennus kartalla vastaa rakennusta tulkinnassa.
2. Muuttunut: Rakennus kartalla vastaa rakennusta tulkinnassa, mutta eivät ole keskenään samanlaisia.
3. Uusi: Tulkintatuloksessa on rakennus, jota ei löydy kartalta.
4. Purettu: Rakennus löytyy kartalta, mutta ei tulkintatuloksesta.
5. 1-n/n-1: Yksi rakennus kartalla vastaa useampaa rakennusta tulkintatuloksessa tai päinvastoin.
6. Ei luokiteltu pienen koon tai puuttuvan aineiston vuoksi.
7. Oletetaan olevan OK, mutta puuston peitossa. Rakennus näyttää tulkintatuloksissa pienemmältä kuin kartalla.
8. Oletetaan olevan OK, mutta matala: Rakennus näyttää puretulta, mutta pintamallissa on ympäristöään korkeammalla. Todennäköisesti kartan rakennus on edelleen olemassa. (9.)

Muutostulkinnassa saman luokan saaneet rakennukset kartalla ja tulkintatuloksissa luokitellaan erikseen. Näin ollen muuttumaton rakennus saa molemmissa aineistoissa luokakseen 1 ja muuttunut luokan 2. Visuaalista tarkastelua varten voidaan tehdä tuloskuvia. (9.)

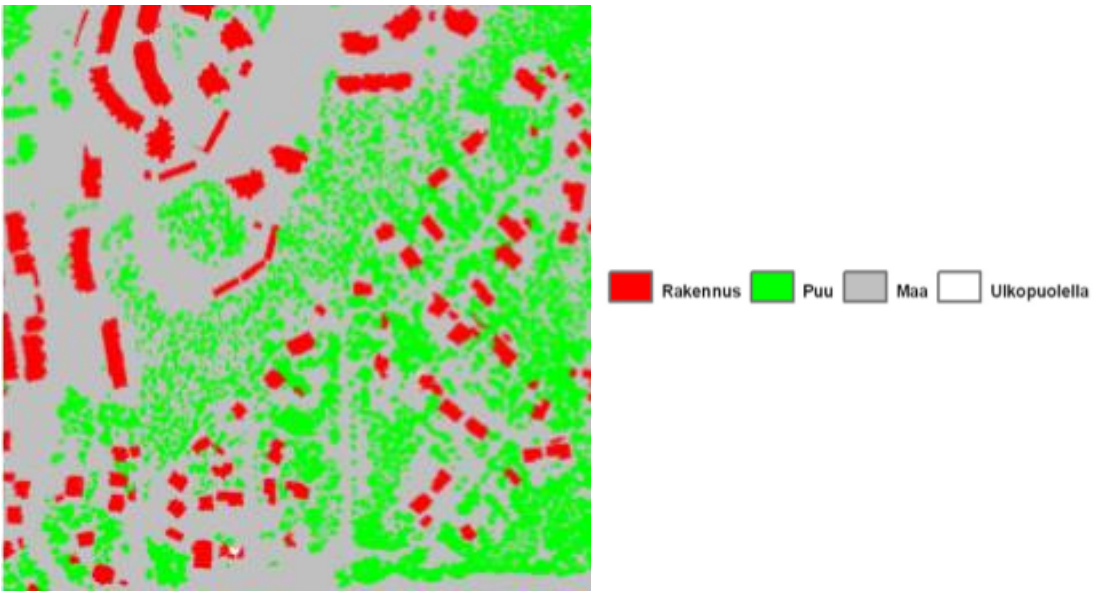
3.3 Testituloksia

Luvuissa 3.3.1–3.3.2 käydään lyhyesti läpi Espoonlahdella tehtyjä mittauksia, joissa testattiin rakennus- ja muutostulkintaa. Mittauksilla ajantasaistettiin Espoonlahden karttoja.

3.3.1 Rakennustulkinta

Ajantasaistusmenetelmiä testattiin alkuvaiheessa Otaniemellä, mutta nykyaikaisemmat testaukset on tehty pääasiassa Espoonlahdella. Myös Ranskassa ja Tanskassa on testattu rakennustulkintamenetelmää karttojen ajantasaistuksessa. (9.)

Tutkimuksen kannalta Espoonlahden alue antaa runsaasti tietoa. Alueella on monenlaisia rakennuksia, maasto on vaihtelevaa ja kasvillisuutta runsaasti. Rakennustulkintojen tarkkuus saadaan vertaamalla pikseleittäin laserkeilausaineistoa ajantasaiseen kartta-aineistoon (kuva 9). Mittausten tarkkuus on ollut noin 85–90 %. Rakennukset eivät ole samanlaisia kartalla kuin ilmasta katsottuna eli todellisuudessa tarkkuus on mitattua arvoa parempi. Kartalla esitetään sokkelien sijainti ja ilmakuvasta nähdään kattojen reunat. Tarkkuutta on arvioitu myös rakennuksittain laskemalla, kuinka moni kartan rakennuksista löytyy ilmakuvista. Tulokset riippuvat rakennusten koosta; suuremmat löytyvät hyvin, mutta pienissä rakennuksissa esiintyy puutteita. (9.)



KUVA 9. Automaattisen rakennustulkinnan tulos ja väritunnisteet (9, s. 4)

Espoonlahdella tehdyissä tutkimuksissa käytettiin Optech-laserkeilausaineistoa (pistetiheys 2–4 pistettä / m^2) ja ortokuvamosaiikkia. Testialueen yhteispinta-ala oli 4,5 km^2. Espoon kantakartasta koostettua rasterikarttaa hyödynnettiin tulosten luotettavuuden arvioinnissa. (9.)

Mikäli tulkintatuloksessa rakennuksen pinta-alasta esiintyy 50 %, katsotaan rakennus oikein tunnistetuksi. Tulkintatarkkuudeksi saatiin 89 %, kun pinta-alaltaan yli 20 m^2 rakennuksia oli noin 1 100. Kohdetarkkuus ilmoittaa tulkin-

tatuloksissa poikkeavat rakennukset. Tässä tutkimuksessa kohdetarkkuudeksi saatiin 86 %, ja tulkintatuloksissa esiintyi noin 100 ylimääräistä rakennusta, joita ei esiintynyt kartalla. (9.)

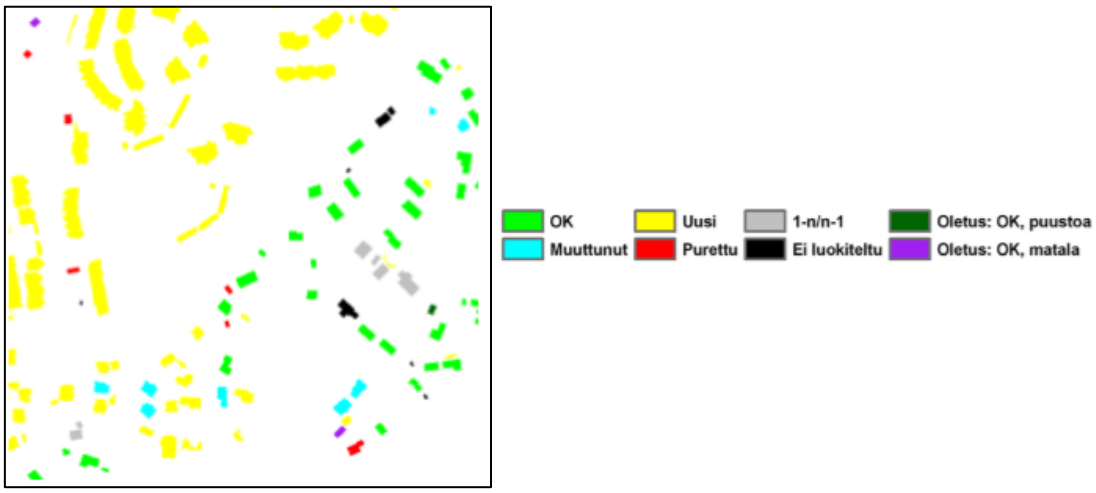
Yli 60 m^2:n rakennukset aiheuttivat vähemmän virheitä tulkinnassa, näissä kohdetarkkuus nousi 96 %:iin. Virheitä aiheuttivat suurimmalta osin rinteeseen rakennetut talot ja osittain maan tasalla olevat pysäköintihallit. Rakennuksiksi oli tulkittu myös katoksia ja teollisuuskontteja, jotka myös laskivat tarkkuutta. Myös piharakennukset jäivät puiden alle piiloon. (9.)

3.3.2 Muutostulkinta

Myös muutostulkintamenetelmää testattiin rakennustulkintatulosten pohjalta. Maanmittauslaitoksen Maastotietokannan laser- ja kuva-aineistoista löytyneet rakennukset muunnettiin rasterimuotoon. Tästä muodostui vanha kartta muutostulkintamenetelmään, jossa verrattiin vanhaa karttaa ajantasaiseen versioon ja näistä etsittiin eroavaisuuksia (kuva 10). Muutostulkinnassa muutokset löydettiin melko hyvin, ja tulokset paranivat rakennusten koon kasvaessa. (9.)

Pienistä, alle 20 m^2:n, rakennuksista muutostulkinnassa uusiksi tunnistettiin 69 %. Yli 60 m^2:n rakennuksista sen sijaan tunnistettiin noin 90 %. Kuten rakennustulkintamenetelmässä, myös muutostulkinnassa virheitä aiheuttivat muun muassa autokatokset ja piharakennukset. (9.)

Muutostulkinnassa 18 % rakennuksista aiheutti virheellisiä muutoksia, joten nämä rakennukset vaatisivat visuaalista tarkastelemista käytännön ajantasaistustyössä. Muuttumattomiksi rakennuksiksi voitiin testissä luokitella 51 % kartan rakennuksista, nämä voitaisiin sivuuttaa ajantasaistuksessa. (9.)



KUVA 10. Automaattisen muutostulkinnan tulos ja väritunnisteet (9, s. 4)

3.4 Aineistojen vaikutus

Käytetyllä aineistolla on vaikutusta rakennustulkinnan tuloksiin. Hyviä tuloksia on kuitenkin saatu erilaisilla aineistoilla. Puut olivat lehdessä edellä kuvatussa tutkimuksessa, sillä laseraineisto oli keilattu kesällä. Ilmakuvat sen sijaan oli kuvattu alkusyksynä. Ortokuvan käyttö paransi tuloksia pelkästään laseraineistoon perustuneissa luokitteluissa. (9.)

Tarkempaan lopputulokseen päästäisiin, mikäli keilaus tapahtuisi lehdettömään aikaan, keväällä tai syksyllä, jolloin puuston vaikutus olisi pieni ja aiheuttaisi vähemmän virheitä. Myös ilmakuvat tulisi ottaa samaan aikaan laserkeilauksen kanssa. Lehdettömään aikaan kasvillisuus ei yhdisty yhtä helposti rakennuksiin, ja puiden alla olevat rakennukset erottuvat paremmin. Mikäli tulkinnassa halutaan käyttää kasvillisuusindeksiä, puiden tulisi olla lehdessä. (9.)

Rakennustulkintaa on testattu Espoonlahdella myös harvalla laseraineistolla (0,4 pistettä / m^2). Rakennukset löytyivät hyvin myös tässä tapauksessa. Rakennusten muoto tulee kuitenkin paremmin esille silloin, kun käytetään tiheämpää aineistoa. (9.)

3.5 Yhteenveto tulkintamenetelmistä

Laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista on saavutettu hyviä tuloksia rakennusten tunnistamisessa ainakin Espoonlahden kaltaisella esikaupunkialueella. Pienissä rakennuksissa automaattisella tulkinnalla esiintyy jonkin verran virheitä. Muutostulkintatulosten kartan ja rakennustulkintojen välillä voi sanoa olevan lupaavia. Käytännön kartoitustyössä automaattisesta tulkintamenetelmästä voisi siis todellisuudessa olla hyötyä. (9.)

Rakennuksia tarkastellessa myös puusto erottuu omaksi luokakseen, joten rakennustulkintamenetelmää voitaisiin hyödyntää myös puuston ja metsäalueiden rajaukseen. Kasvillisuusindeksin avulla voidaan jakaa kasvillisuuden peittämä alue kasvittomaan alueeseen. Tapaa voitaisiin hyödyntää myös teiden kartoituksessa. (9.)

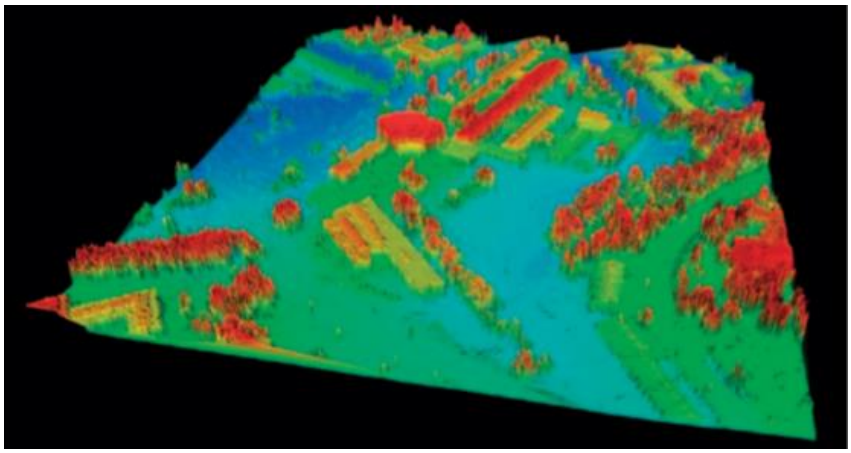
Tulevaisuudessa mahdollisuudet automaattisiin tulkintamenetelmiin kasvavat jatkuvasti, kun keilattavista alueista löytyy tietoa monelta eri ajalta. Pelkkä erotuskuva kahden pintamallin välillä antaa havainnollistavaa tietoa muutoksista. Pintamalleja voidaan muodostaa myös automaattisesti pintakuvista, mutta niiden laatu saattaa olla heikompi kuin lasermallien. (9.)

4 LASERKEILAUSMATERIAALIN KÄSITTELY MAKSUTTA

Laserkeilauksen yleistyessä markkinoille on tullut monia ohjelmia aineiston käsittelyyn. Maksulliset ohjelmat hallitsevat markkinoita, sillä ne ovat laajoja kokonaisuuksia, joilla pystytään tekemään isoja projekteja. Maksuttomat ohjelmat soveltuvat pääsääntöisesti vain yksittäisen työn tekemiseen, mutta niiden ansiosta asiasta kiinnostuneella kuluttajalla on mahdollisuus tutustua laserkeilausaineistoon. (10.) Luvussa 4 perehdytään tarkemmin maksuttomiin ohjelmiin.

4.1 FurgoViewer

FurgoViewer on hyvä yleisohjelma materiaalin käsittelyyn. Ohjelmalla aineistoa pystytään tarkastelemaan 3D-ympäristössä ja sitä voidaan visualisoida esimerkiksi korkeuden, intensiteetin ja luokituksen perusteella. Ohjelmalla pystytään tekemään mittauksia, tarkastelemaan profiileja, luomaan korkeuskäyriä sekä tuottamaan TIN-malleja (kuva 11). Sen avulla voidaan tuoda myös muita aineistoja, kuvatiedostoja ja ortokuvia. (10.)



KUVA 11. TIN-malli (10, s. 1)

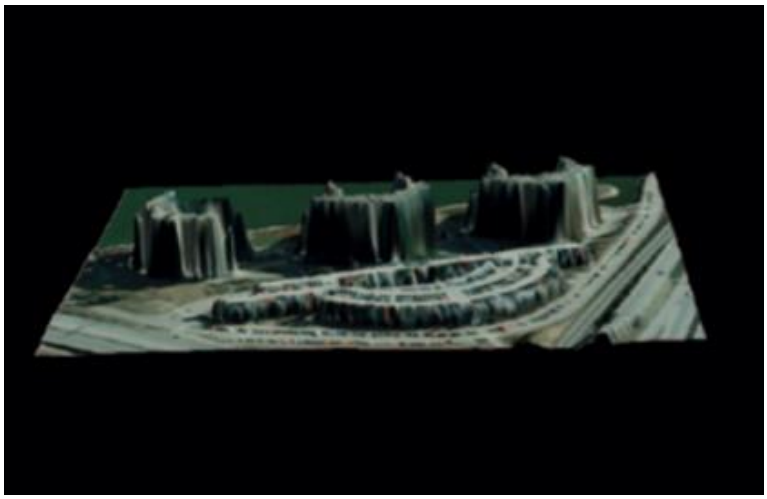
4.2 LasTools

LasTools on kokoelma komentorivillä toimivia tehokkaita ja pieniä ohjelmia. LasToolsin ohjelmilla voidaan luoda varjostettuja pintamallikuvia, korkeuskäy-

riä ja TIN-malleja. Ohjelmalla ei pysty katselemaan aineistoja, mutta edellä mainitut mallit voidaan tallentaa tunnettuina kuvaformaatteina (esimerkiksi PNG, JPG, TIF). Ohjelmalla voidaan pakata suuria tiedostoja, yhdistää ja leikata tiedostoja sekä tutkia keilausaineiston tietoja ja tarkkuutta. Korkeuskäyrien ja pintamallikuvien tarkasteluun voidaan käyttää FurgoVieweriä yhdessä pistepilven kanssa. Pakettiin sisältyy näyttöohjelma, jolla voidaan tarkastella pistepilveä 3D-näkymässä. Tekstitiedostoista saadaan apua ohjelmien käyttöön. (10.)

4.3 Fusion

Fusion-ohjelma on kehitetty laserkeilausaineistojen käsittelyyn ja prosessointiin. Ohjelma sopii niin ympäristön kuin metsäalueidenkin tutkimiseen. Fusion on tässä esitellyistä ohjelmista monipuolisin, joten sen käyttö vaatii hieman harjoittelua. Sillä voidaan luoda pintamalleja (kuva 12) sekä verhoilla ne ortokuvilla, tehdä maanpintaluokituksia, mitata puuston ominaisuuksia sekä luoda ortokuvia. (10.)



KUVA 12. FUSIONilla tuotettu pintamalli (10, s. 2)

4.4 Landserf

Landserf on hyvä työkalu pintamallien visualisointiin. Ohjelmaan voidaan tuoda esimerkiksi Maanmittauslaitoksen tuottama pintamalli. Ohjelma sisäl-

tää kartoitusmahdollisuuden, korkeuskäyrien luomisen ja pintamallin analysointityökalut. (10.)

4.5 Google Sketchup

Google Sketchup eroaa muista CAD-tyyppisistä ohjelmista helpon käytettävyyden ansiosta. Ohjelmaan voidaan tuoda pistepilvi, josta voidaan luoda pintamalli. Ohjelma soveltuu yksittäisten rakennusten mallintamiseen. Rakennusten julkisivut voidaan muodostaa omista tekstuurikuvista tai käyttää kuvia suoraan Google Streetview -verkkopalvelusta. Heikkoutena on ohjelman raskaus, sillä jo muutaman rakennuksen kokoisessa projektissa mallintaminen käy hitaaksi ja hankalaksi. (10.)

4.6 Yhteenveto maksuttomista käsittelyohjelmista

Edellä mainitut ohjelmat sopivat hyvin käyttäjille, joilla ei ole mahdollisuuksia hankkia monipuolisempia maksullisia ohjelmia. Ohjelmat kuitenkin soveltuvat hyvin laserkeilausaineiston tutkimiseen. Maksullisten ohjelmien voi olettaa olevan käytettävyydeltään paljon helpommin lähestyttäviä. Niissä on monipuolisemmat ominaisuudet kasvillisuuden, rakennusten ja muiden piirteiden luokitukseen sekä paremmat pintamallityökalut ja tallennusmahdollisuudet. (11.)

Maksulliset ohjelmat ovat kokonaisuuksia, kun taas maksuttomat ohjelmat keskittyvät yleensä vain tiettyyn tehtävään. Maksuttomat ohjelmat ovat kuitenkin hyvä mahdollisuus tutustua aiheeseen ja herättää mielenkiintoa alaa kohtaan. (10.)

5 POHDINTA

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin erilaisia menetelmiä, joilla karttoja voidaan päivittää. Työn tavoitteena oli perehtyä kirjallisuuskatsauksen kautta aiheeseen ja tarkastella, miten karttojen ajantasaistus käytännössä tapahtuu. Lisäksi työssä selvitettiin ja esiteltiin erilaisia ohjelmia, joita kuluttaja voi omalla kotikoneellaan hyödyntää laserkeilausaineiston tutkimiseen.

Opinnäytetyössä lähdettiin liikkeelle aiheeseen sopivan aineiston keräämisellä. Aineistoa on verrattain runsaasti saatavilla, sillä karttojen päivittäminen ja erilaiset maastomittaustyökalut ovat yleisesti käytössä niin julkisella sektorilla kuin yksityisilläkin toimijoilla. Karttojen ajantasaistus ei siis ole ilmiönä uusi, mutta siihen tarvittavia tekniikoita ja työkaluja kehitetään jatkuvasti.

Missä esiteltyjä menetelmiä voisi sitten hyödyntää tulevaisuudessa? Voisimmeko luoda saatavilla olevista aineistoista jotain, jota kaikki kiinnostuneet voisivat hyödyntää? Pystyisivätkö esimerkiksi pelinkehittäjät hyödyntämään saatuja tietoja laserkeilauksesta ja maastomittauksessa omassa tuotannossaan?

Tänä vuonna opetuskäyttöön on tullut kaupunkisuunnittelupeli *Cities: Skylines*, jota työssä ei käsitelty vähäisen tiedon saannin vuoksi. Pelissä on mahdollista tehdä kokonaisia kaupunkeja ja tuottaa niillä erilaisia simulaatioita kaupungin kehitykseen, ihmismäärään ja liikenteeseen liittyen. Jotkin kaupungit ovat perustaneet peliä hyödyntäviä kilpailuja heidän kaupunkinsa kehittämistä varten. Kilpailuissa ihmiset ympäri maailmaa ovat pystyneet osallistumaan kaupungin suunnitteluun, ja näin on saatu paljon uusia ideoita ja ajatuksia kaupungin kehittämistä ajatellen. (12.)

Voisiko laserkeilauksesta olla apua pelin kehityksessä ja todellisuuden lisäämisessä? Tulevaisuudessa tulemme ehkä käyttämään ohjelmaa opetuksessa, sillä se on helposti lähestyttävä ja monet rakennusalaa miettivät saattaisit innostua aiheesta ja sen asettamista haasteista. Jos pelinkehittäjillä olisi

mahdollisuus käyttää kaikkia saatavilla olevia aineistoja, pystyisivät he kehittämään jopa Oulun kokoisen alueen peliin jokaista yksityiskohtaa myöten, minkä jälkeen kaupunkisuunnittelu olisi kaikkien käsillä. (13.)

Tässä opinnäytetyössä ei suoritettu empiiristä tutkimusta, mutta tehdyn kirjallisuuskatsauksen perusteella voidaan todeta, että rakentamisen digitalisaatio on tuonut mukanaan suuren määrän työtä nopeuttavia ja helpottavia työkaluja. Työkaluihin kuuluvat olennaisena osana esimerkiksi tässäkin työssä esitellyt ohjelmat ja mittaustyökalut, joiden avulla työn kustannuksia on saatu minimoitua ja urakoille laskettuja aikatauluja lyhennettyä. Digitalisaation myötä myös kuluttajalla on mahdollisuus tutustua aiheeseen kotonaan ja käsitellä mittaustuloksia itsenäisesti.

Tekniikka kehittyy jatkuvasti, joten tulevaisuudessa perinteinen maastomittaus tulee luultavasti väistymään kokonaan digitaalisten vaihtoehtojen tieltä.

LÄHTEET

1. Erho, Jarmo 2018. Infrarakentamisen perusosaaminen, Mittaustekniikan perusteet. Oulun ammattikorkeakoulu.

2. Laurila, Pasi 2008. Mittaus- ja kartoitustekniikan perusteet. Saatavissa: http://virtual.ramk.fi/Tuotantoalat/eJulkaisu_Mittaus%20ja%20kartoitustekniikka_Laurila.pdf. Hakupäivä 22.11.2018.

3. Erho, Jarmo 2018. Infrarakentamisen perusosaaminen, Satelliittimittaus. Oulun ammattikorkeakoulu.

4. Vinni, Päivi 2003. Kuva kertoo enemmän kuin tuhat sanaa – Mitä on fotogrammetria? Saatavissa: http://www.kotikone.fi/faryan/Teksteja/JatkokurssiB.htm. Hakupäivä 27.11.2018.

5. Lehtonen, Pekka 2013. Suomalainen laserkeilaus on maailman huippua, haastattelu. Maankäyttö 2/2013. Saatavissa: http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk213/mk213_1638_lehtonen.pdf. Hakupäivä 23.11.2018.

6. Heilä, Sampsa 2005. Laserkeilaus vauhdittaa maarakentamisen automatisointia. Tekniikka & talous. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/rakennus/2005-12-09/Laserkeilaus-vauhdittaa-maarakentamisen-automatisointia-3286604.html. Hakupäivä 23.11.2018.

7. Partanen, Petja 2015. Jokamiehen laserkeilain 3D-mallintaa maailman. Tekniikan akateemiset TEK –verkkolehti. Saatavissa: https://lehti.tek.fi/tekniikka/jokamiehen-laserkeilain-3d-mallintaa-maailman. Hakupäivä 24.11.2018.

8. Kokkolaa laserkeilataan jälleen. 2010. Yle Keski-Pohjanmaa. Saatavissa: https://yle.fi/uutiset/3-6160436. Hakupäivä 24.11.2018.

9. Matikainen, Leena 2009. Rakennusten automaattinen tunnistus ja muutostulkinta laserkeilaus- ja ilmakuva-aineistoista. Maankäyttö 3/2019. Saatavissa: http://www.maankaytto.fi/arkisto/mk309/mk309_1286_matikainen.pdf. Hakupäivä 28.11.2018.

10. Ventin, Jacob 2010. Tutustu laserkeilausaineistoihin ilmaisohjelmilla. Aalto-yliopisto. Saatavissa: file:///D:/Downloads/Tutustu%20laserkeilausaineistoihin%20ilmaisohjelmilla%20(3).pdf. Hakupäivä 25.11.2018.

11. RIEGL Laser Measurement Systems. 2018. Saatavissa: http://www.riegl.com/. Hakupäivä 30.11.2018.

12. Kauppinen, Jukka 2018. Cities-Skylines luokkahuoneisiin rakenteluhitistä tehdään opetuspeli. Saatavissa: https://www.v2.fi/uutiset/pelit/28588/Cities-Skylines-luokkahuoneisiin-rakenteluhitista-tehdaan-opetuspeli/. Hakupäivä 30.11.2018.

13. Cities: Skylines - Education Edition. 2018. Saatavissa: https://store.teachergaming.com/games/cities-skylines. Hakupäivä 30.11.2018.